

## MODÁLNÍ VLASTNOSTI POHONU ELEKTRICKÉ LOKOMOTIVY

Olimjon AHMEDOV<sup>1</sup> Vladimír ZEMAN<sup>2</sup>

### 1 ÚVOD

V rámci spolupráce se ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o. na projektu MŠMT 1M0519- výzkumné centrum kolejových vozidel – je požadováno vyšetření dynamického zatížení pohonu dvojkolí v podvozku elektrické lokomotivy 109E v extrémním zátěžovém stavu vyvolaném zkratovým momentem a pulzačními momenty motoru v jednom z individuálních pohonů. Simulací bylo prokázáno, že dynamická odezva na uvedené zdroje buzení v trakčním motoru závisí na provozních parametrech lokomotivy v okamžiku těsně před poruchou a dominantně se rozkmitá pohonné ústrojí individuálního pohonu, ve kterém vznikl zkratový moment a působí pulzační momenty.

### 2 MODELOVÁNÍ SUBSYSTÉMŮ A MATEMATICKÝ MODEL INDIVIDUÁLNÍHO POHONU

Pro modelování rozkmitání a dynamického zatížení komponent individuálního pohonu vyvolaného poruchovými stavy v motoru, pohon (obr. 1) dekomponujeme na pět subsystémů:

- Rotor motoru (RM) s pastorkem v uzlu 16 bez ložisek,
- Ozubené kolo (K) s unášečem a hnací částí lamelové spojky (LS),
- Sator trakčního motoru (S) s konzolou, skříní převodovky a hmotností ozubeného kola s unášečem soustředěnou do středu hmotnosti na ose rotace,
- Dutý hřídel (H) obepínající nápravu s hnanou částí lamelové spojky a hnací částí zubové spojky (ZS),
- Dvojkolí (D) s hnanou částí zubové spojky,

Obecná poloha subsystémů v souřadnicovém systému zobrazeném na obr. 1 vpravo je popsána zobecněnými souřadnicemi shrnutými v tabulce 1, přičemž dutý hřídel, zubová spojka a dvojkolí tvoří torzní subsystém (T) pohonu.

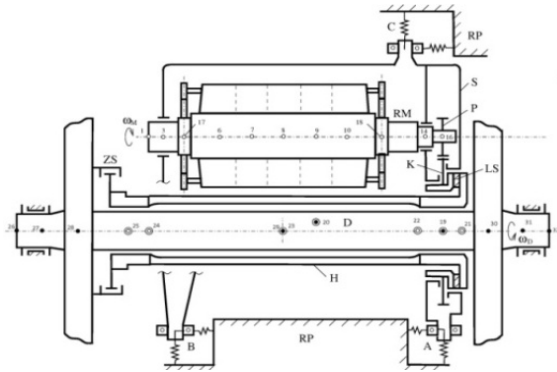
Subsystém	Počet stupňů volnosti	Pořadí zobecněných souřadnic	Zobecněné souřadnice
Rotor motoru (RM)	108	1-108	$u_1, v_1, w_1, \varphi_1, \psi_1, \dots, u_{18}, v_{18}, w_{18}, \varphi_{18}, \psi_{18}$
Ozubené kolo (K)	1	109	$\varphi_{19}$
Sator motoru (S)	6	110-115	$u_{20}, v_{20}, w_{20}, \varphi_{20}, \psi_{20}$
Dutý hřídel (H)	5	116-120	$\varphi_{21}, \dots, \varphi_{25}$
Dvojkolí (D)	7	121-127	$\varphi_{26}, \dots, \varphi_{32}$

Tab. 1: Zobecněné souřadnice subsystémů

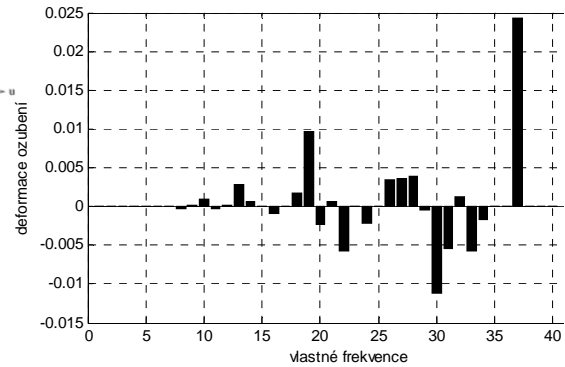
Matematický model individuálního pohonu buzeného pulzačními momenty trakčního motoru sestavíme v zobecněných souřadnicích vyjadřujících výchylky pohonu ze statické rovnovážné polohy dané pohybem vozidla po přímé, geometricky ideální trati před poruchou.

<sup>1</sup> Olimjon Ahmedov, student doktorského studijního programu Aplikovaná věda a informatika, obor Aplikovaná mechanika, e-mail: ahmedov@kme.zcu.cz

<sup>2</sup> Prof. Ing. Vladimír Zeman, DrSc., Katedra mechaniky, Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 22, 30614 Plzeň, Česká republika, zemanv@kme.zcu.cz



Obr.1: Schéma modelu pohonu



Obr.2: Deformace ozubení při kmitání vlastním tvarem odpovídajícím vlastní frekvenci

Model má tvar

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + (\omega_0 \mathbf{G} + \mathbf{B}(s_0, v))\dot{\mathbf{q}} + (\mathbf{K} + \mathbf{K}_{P,K} + \mathbf{K}_{RM,S} + \mathbf{K}_{LS})\mathbf{q} = \hat{\mathbf{f}}(t)$$

Matice  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{G}$ ,  $\mathbf{B}(s_0, v)$  a  $\mathbf{K}$  jsou blokově diagonální a mají strukturu odpovídající dekompozici pohonu

$\mathbf{M} = \text{diag}[\mathbf{M}_{RM}, I_{Ok}, \mathbf{M}_S, \mathbf{M}_T]$ ,  $\mathbf{K} = \text{diag}[\mathbf{K}_{RM}, 0, \mathbf{K}_{S,RP}, \mathbf{K}_T]$ ,  $\mathbf{G} = \text{diag}[\mathbf{G}_{RM}, 0, \mathbf{0}, \mathbf{0}]$ ,  $\mathbf{B}(s_0, v) = \text{diag}[\mathbf{B}_{RM}, 0, \mathbf{0}, \mathbf{B}_{ad}(s_0, v)]$ , přičemž matice tlumení zahrnuje vliv tlumení motoru  $\mathbf{B}_{RM}$  a adhezních účinků ve styku kol dvojkolí s kolejnicemi  $\mathbf{B}_{ad}(s_0, v)$  v závislosti na relativním skluzu kol  $s_0$  a na rychlosti lokomotivy  $v$ . Vektor buzení pulzačními momenty má strukturu  $\hat{\mathbf{f}}(t) = [\mathbf{f}_{RM}^T(t), 0, \mathbf{0}, \mathbf{0}]^T$ , kde  $\mathbf{f}_{RM}(t) = \sum_k \mathbf{f}_k e^{2\pi f_k t}$ ,  $\mathbf{f}_k = \frac{1}{5} M(s_0, v) \eta_k [\dots, 1, \dots, 1, \dots, 1, \dots, 1, \dots, 1, \dots, 5]^T$  je vektor  $k$ -té harmonické složky amplitud buzení při budící frekvenci  $f_k$ .

### 3 MODÁLNÍ ANALÝZA INDIVIDUÁLNÍ POHONU

Pro ilustraci v tabulce 2 je uvedeno prvních 5 vlastních frekvencí konzervativního modelu pohonu včetně stručné charakteristiky vlastních tvarů kmitání.

$\nu$	$f_\nu$ [Hz]	Charakteristika vlastního tvaru kmitání
1	0	rotační pohyb systému bez deformací
2	4,07	torzní deformace lamelové spojky
3	27,16	vrcení a axiální (podélné) deformace rotoru motoru a statoru
4	35,07	kolébaní rotoru a statoru motoru
5	48,97	torzní deformace lamelové spojky a zkrucování dvojkolí

Tab. 2: Modální veličiny individuálního pohonu

Z hlediska dynamického zatížení ozubení je důležitá velikost deformace ozubení při jednotlivých vlastních tvarech kmitání (obr.2).

### 4 ZÁVĚR

Odvozený model pohonu dvojkolí kolejového vozidla umožňuje vyšetřit vznik možných rezonančních stavů vyvolaných harmonickými zdroji buzení. Pro ozubení pastorku a kola jsou nebezpečné rezonance, kdy 1. harmonická složka pulzačního momentu rezonuje s vlastními frekvencemi  $f_{19}$ , 4. harmonická složka s vlastní frekvencí  $f_{30}$  a zejména 5. harmonická složka s vlastní frekvencí  $f_{37}$ .

### LITERATURA

Zeman V., Hlaváč Z., Byrtus M., 2011. *Dynamické zatížení komponent podvozku lokomotivy 109E vyvolané zkratovým momentem trakčního motoru*. VZ č. F10-01/2010, VCKV, ZČU